

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-321947
(43)Date of publication of application : 08.11.2002

(51)Int.CI.

C03C 27/00

G02B 27/28

G02F 1/09

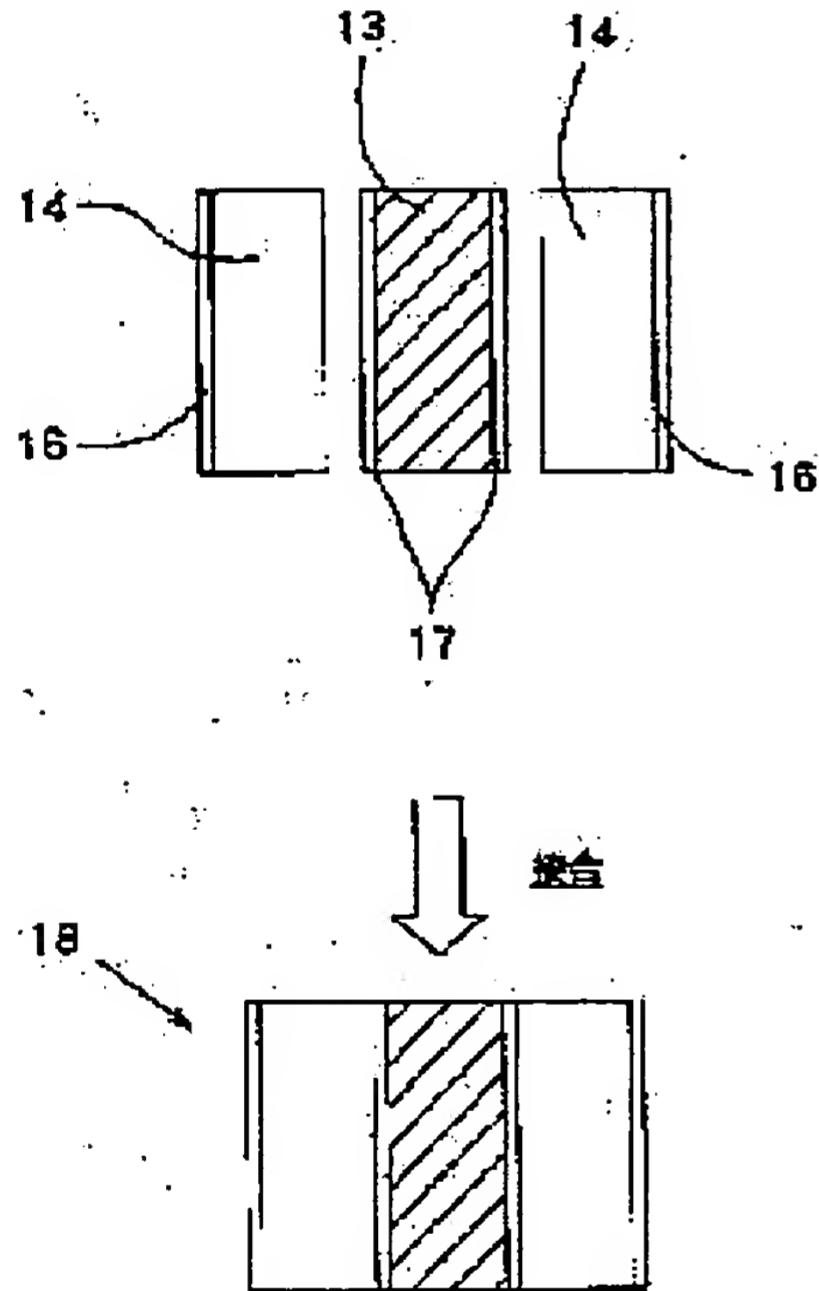
(21)Application number : 2001-127284

(71)Applicant : SHIN ETSU CHEM CO LTD

(22)Date of filing : 25.04.2001

(72)Inventor : YOSHIKAWA HIROKI

(54) OPTICAL DEVICE AND METHOD FOR PRODUCING THE SAME



(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a small-sized optical device having a high reliability by realizing connecting optical elements with each other without using an organic adhesive.

SOLUTION: A Faraday rotator 13 is provided with reflection preventing films 17 against glass, at both the sides. Reflection preventing films 16 against air are formed to one side of the two polarizing glasses 14, respectively and then the joining faces of the polarizing glasses 14 and those of the reflection preventing films 17 against glass of the Faraday rotator 13 are adjoined to form a jointed body 18 through alkali metal element-containing layers.

| (51)Int.Cl. ⁷ | 識別記号 | F I | テマコト [*] (参考) |
|--------------------------|------|--------------|------------------------|
| C 03 C 27/00 | | C 03 C 27/00 | 2 H 079 |
| G 02 B 27/28 | | G 02 B 27/28 | A 2 H 099 |
| G 02 F 1/09 | 505 | G 02 F 1/09 | 505 4 G 061 |

審査請求 未請求 請求項の数10 OL (全 8 頁)

| | | | |
|----------|-----------------------------|---------|--|
| (21)出願番号 | 特願2001-127284(P2001-127284) | (71)出願人 | 000002060 信越化学工業株式会社 東京都千代田区大手町二丁目6番1号 |
| (22)出願日 | 平成13年4月25日 (2001.4.25) | (72)発明者 | 吉川 博樹 群馬県安中市磯部2丁目13番1号 信越化 学工業株式会社精密機能材料研究所内 |
| | | (74)代理人 | 100102532 弁理士 好宮 幹夫 |
| | | | |

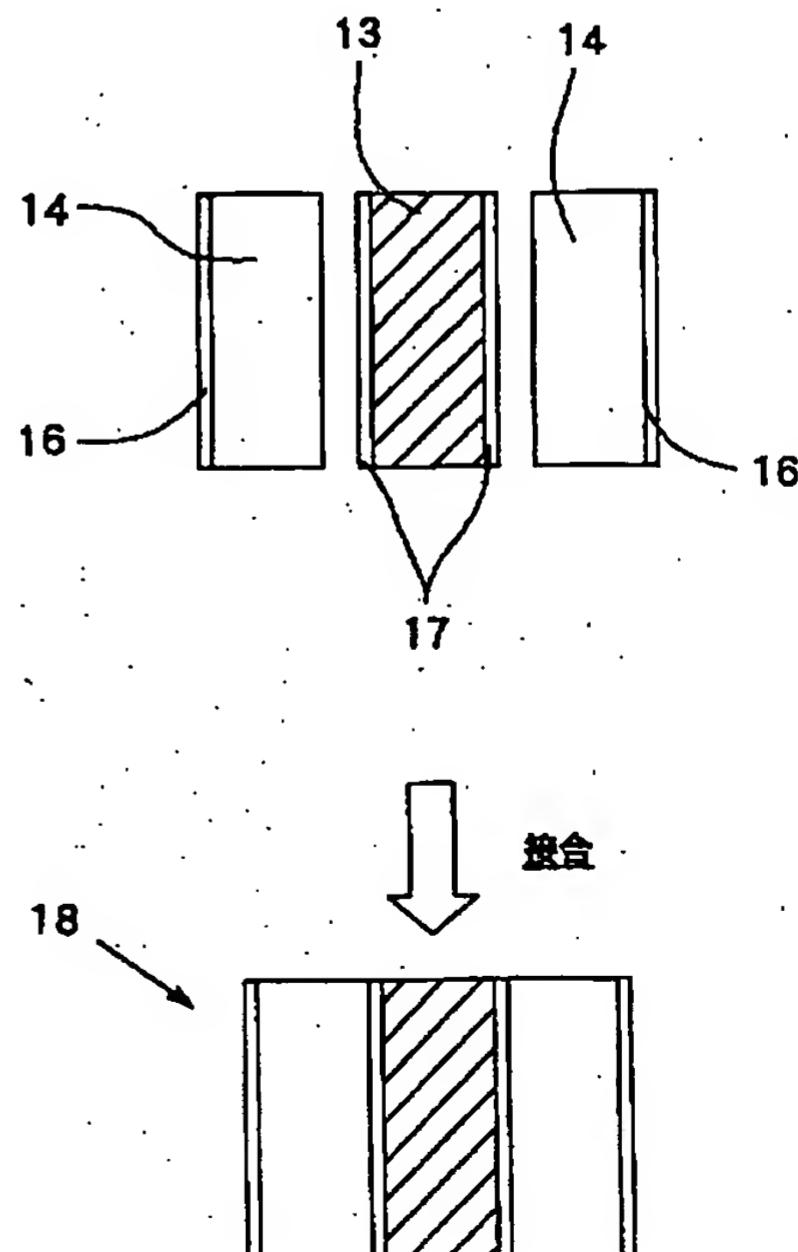
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光学デバイスおよびその製造方法

(57)【要約】 (修正有)

【課題】 光学素子同士の接合を有機接着剤によらずに実現することで、小型でかつ高信頼性の光学デバイスを提供する。

【解決手段】 ファラデー回転子13の両面に対ガラス反射防止膜17を施す。別に2枚の偏光ガラス14の片面に対空気反射防止膜16を施した後、偏光ガラス14の接合面とファラデー回転子の対ガラス反射防止膜17の接合面同士をアルカリ金属元素含有層を介して接合体18を製造する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 光学素子の少なくとも一面が他の光学素子と接合して成り、該接合面を光が透過することによって機能する光学デバイスにおいて、該光学素子の接合面にアルカリ金属元素を含有する層を設けたことを特徴とする光学デバイス。

【請求項2】 前記アルカリ金属元素が、Li、Na、K、Rbの内から選択される1種または2種以上であることを特徴とする請求項1に記載の光学デバイス。

【請求項3】 前記光学素子の接合面に設けたアルカリ金属元素含有層の厚みは、0.1nm以上100nm未満であり、アルカリ金属元素の含有濃度は酸化物換算で0.5重量%以上60重量%未満であることを特徴とする請求項1または請求項2に記載の光学デバイス。

【請求項4】 前記光学素子は、少なくとも偏光ガラスおよび/またはビスマス置換鉄ガーネットで構成されていることを特徴とする請求項1ないし請求項3のいずれか1項に記載の光学デバイス。

【請求項5】 前記互いに接合される各光学素子の熱膨張率の差が $2 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 以下であることを特徴とする請求項1ないし請求項4のいずれか1項に記載の光学デバイス。

【請求項6】 前記互いに接合される各光学素子の熱膨張率の差の中間の値を有する光学材料を各光学素子の間に設けたことを特徴とする請求項1ないし請求項5のいずれか1項に記載の光学デバイス。

【請求項7】 予め接合面を親水化処理した光学素子同士をアルカリ金属元素を溶解した溶液を介して密着し、該溶液を乾燥した後に熱処理して光学素子同士を接合することを特徴とする光学デバイスの製造方法。

【請求項8】 前記アルカリ金属元素を溶解した溶液は、アルカリ金属元素を水酸化物として溶解する場合、アルカリ金属元素との共存によってpH調節作用を有する化合物を添加して調整することを特徴とする請求項7に記載した光学デバイスの製造方法。

【請求項9】 前記熱処理は、80～200℃の温度範囲で行うことを特徴とする請求項7または請求項8に記載した光学デバイスの製造方法。

【請求項10】 前記熱処理は、減圧雰囲気または水素を含む雰囲気で行うことを特徴とする請求項7ないし請求項9のいずれか1項に記載した光学デバイスの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、光学素子を接合して光デバイスを構成する際に、有機接着剤を使用せずに一体化し小型化する技術に関する。

【0002】

【従来の技術】 近年、WDM (Wave Division Multiplex、波長分割多重) の多波長化

により、光通信システムの高集積化が進んでいる。その結果、そこに使用する光デバイスの小型化に対する要求も強くなっている。光デバイスは、多くの場合、固定部材に光学素子を接合し、これらを組み合せることにより構成されている。しかし、この方法では、固定部材が邪魔になり光デバイスの小型化の妨げとなっている。そこで、固定部材を排除し、光学素子同士を直接接着する方法が検討されている。

【0003】 光学素子同士の接合で最も簡単な方法は、有機接着剤を使用することである。しかしながら、有機接着剤は、アウトガスがレーザーダイオードに悪影響を及ぼす上に、高出力レーザーの照射や高温高湿雰囲気下の暴露に弱く、信頼性に欠けるといった欠点を有する。

【0004】 そこで、有機接着剤を使用せずに光学素子同士を接合する方法が種々検討されてきた。例えば無機接合材を使用する方法として、低融点ガラスや半田が挙げられる。低融点ガラスは、 Bi_2O_3 や PbO 等の低融点材料を主成分とした接合用ガラスであるが、接合時に本ガラスの軟化点よりも高温に加熱する必要がある。光デバイスの小型化を目的とした場合、光学素子の透光面同士を接合すると効果的である。しかし、低融点ガラスを加熱軟化する際に光学素子に施した反射防止膜と低融点ガラスが反応し、反射防止機能を損なうといった問題がある。このため、透光面同士の接合に低融点ガラスを使用した光デバイスは、実用化が困難とされている。

【0005】 一方、半田は、透光性が全く無いため、透光面に直接配置することができない。従って、透光面の外枠に選択的メタライズを施し、メタライズ部のみに半田が介在するような接合方法が採られている。このような接合方法は、複雑なメタライズ工程を必要とし、歩留り低下およびコスト上昇が避け難いといった問題を有する。

【0006】 また、接合材を一切使用しないで直接接合する方法（特開平7-220923号公報、特開2000-56265号公報参照）も試みられている。この方法は、光学素子表面を親水化処理した後に親水化面同士を貼り合すもので、半導体ではSOI (Silicon On Insulator) ウエーハの製造工程で実用化されている。しかしながら、この方法を光学デバイスに適用する場合、次に述べるような問題点があり、未だ、実用化されていない。

【0007】 この直接接合方法は、被接合物の形状および物性に大きく依存する。例えば、反りの場合、曲率半径で数百m以上あることが望ましい。また、被接合物の表面粗さは、 $R_a = 0.3\text{ nm}$ 以下であることが望ましいと言われている。

【0008】 さらに、被接合物間の熱膨張率の差にも大きく影響される。しかしながら、上記の制限を満足する光デバイスは以外に少ない。例えば、光デバイスで一般的に使用される光学素子の一つである鉄系ガーネット等

は厚さ方向に応力分布を有するため、大きな反りを伴うことが多い。また、偏光ガラスは、ガラスに銀粒子を分散させた構造であるため、表面粗さを制御することが困難である。さらに、これら光学素子の熱膨張率は、材料によって大きく異なる場合が多く、被接合物間の熱膨張率差が大きくなる傾向にある。このため、直接接合技術の光デバイスへの適用は、非常に困難なものとなっている。このように、現在、有機接着剤を使用せずに光学素子を接合した光デバイスを安価にかつ容易に製造することは、非常に困難な状況にある。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】そこで本発明は、このような問題点に鑑みなされたもので、光学素子同士の接合を有機接着剤によらずに実現することで、小型でかつ高信頼性の光学デバイスを提供することを主たる目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明の光デバイスは、光学素子の少なくとも一面が他の光学素子と接合して成り、該接合面を光が透過することによって機能する光学デバイスにおいて、該光学素子の接合面にアルカリ金属元素を含有する層を設けたことを特徴としている（請求項1）。

【0011】このように、光学デバイスを構成する光学素子の接合面にアルカリ金属元素を含有する層を設けたものとすれば、光学素子同士の十分な接合強度を有機接着剤を使用せずに容易に実現することができるとともに、アウトガスの発生や接合面の劣化がなく、小型で高信頼性の光デバイスを安価に提供することができる。

【0012】この場合、アルカリ金属元素をLi、Na、K、Rbの内から選択される1種または2種以上とすることが好ましい（請求項2）。そして光学素子の接合面に設けたアルカリ金属元素含有層の厚みを0.1nm以上100nm未満とし、アルカリ金属元素の含有濃度を酸化物換算で0.5重量%以上60重量%未満とすることが好ましい（請求項3）。

【0013】このように、アルカリ金属元素をLi、Na、K、Rbの内から選択される1種または2種以上とすれば、強固な接合が可能となり、アルカリ金属元素含有層の厚みを0.1nm以上100nm未満とすれば、十分な接合強度を得ることができる。さらに、アルカリ金属元素含有層の含有濃度を酸化物換算で0.5重量%以上60重量%未満とすれば、十分な接合強度が得られるとともに接合時の光学素子の接合面が変質したり、耐湿性の劣化を招くことはない。

【0014】この場合、光学素子は、少なくとも偏光ガラスおよび/またはビスマス置換鉄ガーネットで構成されていることが好ましい（請求項4）。このように、例えば偏光ガラス製偏光子とビスマス置換鉄ガーネット製ファラデー回転子を接合して接合体を形成する場合に、

アルカリ金属元素含有層が接合剤として光学特性に影響を及ぼすことなく有効に機能する。

【0015】この場合、互いに接合される各光学素子の熱膨張率の差が $2 \times 10^{-6}/\text{°C}$ 以下であることが望ましく（請求項5）、互いに接合される各光学素子の熱膨張率の差の中間の値を有する光学材料を各光学素子の間に設けることができる（請求項6）。

【0016】このように、アルカリ金属元素含有層を介して強固に接合された光学素子は、ストレスがかかると消光比が低下することがある。そしてこの消光比はデバイスの温度変化に伴って劣化し、光学素子間の熱膨張率差が $2 \times 10^{-6}/\text{°C}$ 以上で顕著になるので、この値以下になる光学材料を選択して構成するのが望ましい。また、この値以上になる場合は、両光学素子の熱膨張率の差の中間の値を有する光学材料、例えばバッファガラスを各光学素子の間に設けることによって温度変化による特性の劣化を防止することができる。

【0017】次に、本発明に係る光デバイスの製造方法は、予め接合面を親水化処理した光学素子同士をアルカリ金属元素を溶解した溶液を介して密着し、該溶液を乾燥した後に熱処理して光学素子同士を接合することを特徴としている（請求項7）。このように、小型でかつ高信頼性の光学デバイスは、光学素子の接合面同士の接合を有機接着剤によらずアルカリ金属元素を溶解して含有する溶液を介して密着させ熱処理して接合することで製造することができる。

【0018】この場合、アルカリ金属元素を溶解した溶液は、アルカリ金属元素を水酸化物として溶解する場合、アルカリ金属元素との共存によってpH調節作用を有する化合物を添加して調整することが好ましい（請求項8）。このように、pH調節作用を有する化合物を添加することによって強アルカリ性を抑え、接合時の光学素子表面の変質、得られた接合体の耐湿性や接合強度の低下を防止することができる。

【0019】この場合、熱処理は、80～200°Cの温度範囲で行うのが望ましく（請求項9）、熱処理は、減圧雰囲気または水素を含む雰囲気で行うことができる（請求項10）。このように、例えば上記温度範囲内で数時間熱処理すれば、十分な接合力が得られる。また熱処理の雰囲気は、大気中でも問題にならないが、減圧雰囲気または水素を含む雰囲気がより好ましく、強固な接合強度を得ることができる。

【0020】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について、図面を参照して説明するが、本発明はこれらに限定されるものではない。本発明者等は、有機接着剤を使用せずに光学素子同士を接合することで、小型で信頼性の高い光デバイスを安価に提供するために、光の透過面の接合が可能であり、かつ、接合時に種々の光学素子に対してその反射防止膜にダメージを与えることなく、しか

も、反り、表面粗れ、熱膨張率差を有する光学素子に対しても十分な接合強度が得られる接合技術として、アルカリ金属元素含有層を介して接合すれば極めて効果的であることを見出し、接合に関する諸条件を精査して本発明を完成させた。

【0021】本発明の接合方法のフローを図1に示した。先ず、光学素子の接合面を十分に洗浄（工程①）した後に、親水化処理（工程②）を行う。洗浄①には、通常の湿式洗浄が有効であるが、さらに短波長紫外線処理（UV処理）やプラズマ処理を併用すると、より効果的である。また、親水化処理②には、半導体SOIウェーハプロセスで一般的に利用されているアンモニア過水（アンモニア水、過酸化水素水、純水の混合液）や硝酸、塩酸の希釀液もしくはこれら希釀液に過酸化水素水を添加した溶液が有効である。次に、純水による洗浄を行い、親水化処理液を除去する。純水洗浄後は、IPA蒸気乾燥法やスピンドライヤーで乾燥し、乾燥むらを防止することが望ましい（工程③）。

【0022】このようにして得られた前処理済み光学素子の接合面にアルカリ金属元素を含有した溶液を塗布（工程④）して貼り合せ（工程⑤）する。アルカリ金属元素としては、Li、Na、K、Rb等、ほとんどの1A族元素が使用可能であるが、特にNa、Kが使用しやすい。また、溶液を調製する際は、水酸化物として添加すると調整が容易である。溶液がアルカリ金属元素の水酸化物のみで構成された場合、アルカリ性が強いため、光学素子表面を変質させる恐れがある上に、得られた接合体の耐湿性や接合強度が低下することがある。そこで、水溶液が蒸発する際に、 SiO_2 、 TiO_2 、 Al_2O_3 、 B_2O_3 、リン酸塩等を形成可能な化合物、例えば、シリコンアルコキシド等を同時に添加しておくことが望ましい。これら添加物は、前記の化合物に限定するものではなく、アルカリ金属元素との共存によって適度なpH調製作用（pH=8~12）を有するとともに、溶液中の溶媒が蒸発したときにアルカリ金属元素と均質に混合もしくは化合するものであればどのような化合物でもよい。また、複数の化合物を混合利用してもよい。

【0023】上記、アルカリ金属元素を溶解した溶液中のアルカリ金属元素の濃度或いは固形物質に対するアルカリ金属元素の濃度は、最終的に得られるアルカリ金属元素を含有する層中の濃度が、酸化物換算で0.5重量%以上60重量%未満となるようにするのが好ましく、さらに好ましくは、5~40重量%である。アルカリ金属元素の酸化物換算濃度が0.5重量%未満では十分な接合強度が得られない。一方、60重量%以上では接合時に光学素子の接合面が変質したり、接合強度および耐湿性の低下を招き易い。なお、上記の溶液に使用する溶媒は、水、アンモニア等の極性分子を主成分とした液体を単独もしくは混合して使用することが望ましい。

【0024】最終的に得られるアルカリ金属元素含有層

の膜厚は、0.1nm以上あれば十分な接合力が得られるが、偏光ガラスのように表面粗さ（Ra）が1nm程度と比較的粗い素材の接合に際しては、1nm以上の膜厚に設定した方がより望ましい結果が得られる。一方、膜厚が100nm以上になると膜厚の増加に従って接合力が低下する傾向が見られる。従って、好ましくは0.1nm以上100nm未満、より望ましい膜厚は、1nm以上100nm未満の範囲である。これらのことから、アルカリ金属元素を溶解した溶液の塗布量あるいは濃度等を決定する。

【0025】上記の手順で貼り合せた光学素子を自然乾燥もしくは真空乾燥すると、弱い接合力で固定される（工程⑥）。このものを80~200°C程度の温度で数時間熱処理することで必要十分な接合力が得られる（工程⑦）。このとき、熱処理工程における昇温速度が速や過ぎると、昇温中に接合面の剥離が発生する恐れがある。従って、20°C/h以下の昇温速度に設定することが望ましい。また、熱処理時の雰囲気は、大気中でも問題ないが、減圧雰囲気もしくは水素を含む雰囲気であるとより望ましい。以上の工程を経て光学素子の接合を完結する。

【0026】光学素子の歪に影響を受け易い光学デバイス、例えば光アイソレータ等では、接合した光学素子にストレスがかかると消光比が低下する傾向にある。上記アルカリ金属元素含有層を介して接合する方法で接合したデバイスは、強固に固定されるため、デバイスの温度変化に伴って光学素子間の熱膨張率差に比例したストレスが加わる。

【0027】このような状況において、光学デバイスは、温度変化に伴って消光比が劣化することになる。この消光比の温度劣化は、光学素子間の熱膨張率差が $2 \times 10^{-6}/\text{°C}$ 以上で顕著になる傾向にある。従って、接合する光学素子間の熱膨張率差が $2 \times 10^{-6}/\text{°C}$ 以下のものを選択する方がよいが、これ以上のものを用いる場合は、夫々の光学素子の熱膨張率の間の熱膨張率を有し、且つ光学的に均質で透明な素材を介して接合し一体化することが望ましい。

【0028】例えば、熱膨張率 $10 \times 10^{-6}/\text{°C}$ のファラデー回転子と熱膨張率 $6.5 \times 10^{-6}/\text{°C}$ の偏光ガラスを接合一体化する場合、ファラデー回転子と偏光ガラスの間に $8 \times 10^{-6}/\text{°C}$ 程度の熱膨張率を有する光学ガラスを配設すると温度変化による特性劣化を防止できる。この目的において、光学素子間に設ける光学ガラスは、1枚である必要はなく、熱膨張率を段階的に変化させて複数枚設けた方がより効果的である。

【0029】なお、上記接合プロセスを実施する前に、予め光学素子の接合面には相対する光学素子もしくはアルカリ金属元素含有層の屈折率に最適化した反射防止コートを施しておくことが望ましい。

【0030】

【実施例】以下、本発明の実施例を挙げて本発明を具体的に説明するが、本発明は、これらに限定されるものではない。

| | 偏光ガラス | / | ファラデー回転子 |
|---------------------------------|------------|---|-------------|
| 表面粗さ (R _a (nm)) : | 1 | / | 0.5 |
| 反り (曲率半径 (m)) : | 60 | / | 20 |
| 線熱膨張率 (×10 ⁻⁶ /°C) : | 6.5 | / | 10 |
| 形状 (mm) : | 15×15×0.2t | / | 15×15×0.35t |

なお、上記データは、反射防止膜を施した後に測定したものである。

【0031】ファラデー回転子 (B_i置換鉄ガーネットを波長1.31μmでθ_f=45°に調整したもの)には、両面に対ガラス反射防止膜 (TiO₂/Al₂O₃/SiO₂) を施した。一方、偏光ガラスには、非接合面側のみに対空気反射防止膜 (Al₂O₃/SiO₂) を施した。なお、これら反射防止膜は、波長1.31μmで最適化した。

【0032】接合一体化する光学素子の構成を図2に示した。ファラデー回転子13の両面に対ガラス反射防止膜17を施す。別に2枚の偏光ガラス14の片面に対空気反射防止膜16を施した後、偏光ガラス14の接合面とファラデー回転子の対ガラス反射防止膜17の接合面同士をアルカリ金属元素含有層を介して接合して接合体18を製造する。

【0033】これら光学素子の接合手順は、図1に示すフローに従って行った。各工程の製造条件を以下に示す。

- ①洗浄：低圧水銀灯によるUV(紫外線)処理後、純水で洗浄(US(UltraSonic、超音波)洗浄)する。
- ②親水化処理：アンモニア水：過酸化水素水：純水=1:1:4のアンモニア過水に浸漬する。
- ③洗浄、乾燥：純水洗浄(US洗浄)後、IPA蒸気乾燥を行う。
- ④アルカリ金属元素含有溶液塗布：Na₂O:SiO₂=2:8(重量比)水溶液を接合面に塗布する。水溶液調製時に使用した化合物は、NaOHとテトラエトキシシランである。アルカリ金属元素含有層膜厚として2nmに相当する量の水溶液を塗布する。
- ⑤貼り合せ：塗布液が乾燥する前に貼り合せる。2枚の偏光ガラスの偏波方向が互いに45degになるように調整する。
- ⑥乾燥：貼り合わせ後24時間真空乾燥する。
- ⑦熱処理：110°C、10時間、0.2気圧の水素雰囲気中で行う。昇温速度は4°C/hとした。この熱処理に

(実施例1)接合に用いた光学素子は、偏光子(偏光ガラス)とファラデー回転子(ビスマス置換鉄ガーネット)である。諸物性は以下のとおりである。

偏光ガラス / ファラデー回転子

| | | | |
|---------------------------------|------------|---|-------------|
| 表面粗さ (R _a (nm)) : | 1 | / | 0.5 |
| 反り (曲率半径 (m)) : | 60 | / | 20 |
| 線熱膨張率 (×10 ⁻⁶ /°C) : | 6.5 | / | 10 |
| 形状 (mm) : | 15×15×0.2t | / | 15×15×0.35t |

よって接合が完了する。

【0034】上記条件で接合した接合体をダイサーにより1×1mmのチップ状に切断し、接合面を観察したが、接合界面の剥離等の欠陥は観察されなかった。さらに、このチップを、純水中で1時間煮沸し接合界面を観察したが、接合界面の剥離等の欠陥の発生は観察されなかった。以上のことから、本発明の接合一体化した光学素子は、必要十分な強度を有することが確認された。

【0035】次に、上記条件で得られた接合体を円筒磁石内にセットし、接合型光アイソレータを構成した。図3に接合型光アイソレータ10の構成例を示す。ファラデー回転子13の両面に対ガラス反射防止膜17を施し、非接合面に対空気反射防止膜16を設けた偏光ガラス14をファラデー回転子対ガラス反射防止膜17と接合して一体化した接合体18を円筒磁石15内にセットして接合型光アイソレータ10を形成する。

【0036】この光アイソレータの順方向挿入損失および逆方向挿入損失を波長1.31μmのレーザー光で測定した。その結果、順方向挿入損失は0.12dB、逆方向挿入損失は48.6dBであった。これらの結果から、本発明で得られた接合型光アイソレータは、光学的に十分な特性を有することが確認できた。

【0037】(実施例2)アルカリ金属元素含有層の厚みのみを種々変更した以外は、実施例1と同様の条件で接合体を作製し、接合強度を評価して表1に示した。アルカリ金属元素含有層の厚みは、図1④の工程で塗布するアルカリ金属溶液の濃度および塗布量で調整した。なお、使用した水溶液の組成は、実施例1と同様である。

【0038】表1に示した通り、アルカリ金属元素含有層の厚みは、0.1nm以上あれば通常の用途で十分な接合強度を示すことが確認された。ただし、煮沸試験等の劣悪環境にも耐える光学デバイスを必要とする場合は、1nm以上100nm未満の膜厚に設定することが望ましいことが確認された。

【0039】

【表1】

| 試験項目 | アルカリ金属元素含有層の膜厚 (nm) 別接合界面の状態 | | | | | | | | |
|------|------------------------------|-----|-----|---|---|----|----|-----|-----|
| | 0 | 0.1 | 0.5 | 1 | 5 | 15 | 50 | 150 | 500 |
| 接合直後 | × | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 切断後 | × | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 煮沸後 | × | △ | △ | ○ | ○ | ○ | ○ | △ | △ |

【註】 ○：良好、 △：一部に不良あり、 ×：不良。

【0040】(実施例3) アルカリ金属元素含有層のアルカリ金属元素の濃度を種々変更した以外は、実施例1と同様の接合条件で接合体を作製し、実施例1と同じ方法で接合強度を評価して、表2に示した。アルカリ金属元素含有層のアルカリ金属元素濃度は、図1④のアルカリ金属元素塗布工程で塗布するアルカリ金属元素溶液の

アルカリ金属元素とその他の固形物元素の酸化物換算比(重量比)で調整した。なお、アルカリ金属元素含有層の膜厚は、2 nmに設定した。

【0041】

【表2】

| 試験項目 | アルカリ金属元素含有層のアルカリ金属元素濃度 ²⁾ (重量%) 別接合界面の状態 ¹⁾ | | | | | | | |
|------|---|-----|---|---|----|----|----|----|
| | 0 | 0.5 | 2 | 5 | 20 | 40 | 60 | 80 |
| 接合直後 | × | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 切断後 | × | △ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | △ |
| 煮沸後 | × | △ | △ | ○ | ○ | ○ | △ | △ |

【註】 1) ○：良好、 △：一部に不良あり、 ×：不良。

2) アルカリ金属元素濃度(重量%) = [(Na₂O / (Na₂O + SiO₂)] × 100

【0042】表2に示した通り、アルカリ金属元素含有層のアルカリ金属元素濃度は、0.5以上60重量%未満の範囲内であれば通常の用途で十分な接合強度と製造歩留りを示すことが確認された。ただし、煮沸試験等の劣悪環境にも耐える光学デバイスを必要とする場合は、5～40重量%の濃度に設定することが望ましいことが判った。

【0043】(実施例4) 各光学素子間の熱膨張率差が小さくなるように、バッファガラスを組み込んだ下記の構成の接合型光アイソレータを作製した。すなわち、偏

偏光ガラス/バッファガラス間：

バッファガラス/ファラデー回転子間：

なお、上記構成においては、バッファガラスと偏光ガラスの屈折率が同じであるので、バッファガラスの反射防止膜を省略することができる。

【0045】このようにバッファガラスを設けて接合一体化する光学素子の構成を図4に示した。ファラデー回転子13の両面に対ガラス反射防止膜17を施す。次に2枚のバッファガラス12を対ガラス反射防止膜17の接合面にアルカリ金属元素含有層を介して接合する。別に2枚の偏光ガラス14の片面に対空気反射防止膜16を施した後、偏光ガラス14の接合面とバッファガラス12の接合面同士を接合して接合体19を製造する。

光ガラス/バッファガラス/ファラデー回転子/バッファガラス/偏光ガラスという構成である。バッファガラスには、屈折率が偏光ガラスと同等であり、かつ、熱膨張率が $8 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ のものを選択した。また、バッファガラス以外の光学素子は、実施例1と全く同じものを使用した。

【0044】この構成により、各光学素子間の熱膨張率差は、下記の様になり、実施例1の光アイソレータの熱膨張率差 $3.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ よりも小さくすることができる。

1. $5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 、

2. $2 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 、

【0046】次に、上記条件で得られた接合体を円筒磁石内にセットして接合型光アイソレータを実施例1に準じて作製し、逆方向挿入損失の温度依存性を評価した。また、比較のため、実施例1で作製した標準構成の光アイソレータについても同様の評価を行った。なお、標準構成光アイソレータの熱膨張率差は、偏光ガラス/ファラデー回転子間で $3.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ である。

【0047】図5に示すように、標準構成の光アイソレータ(実施例1)は、110°Cの環境温度で、約1.1dBの逆方向挿入損失(消光比に相当する)の劣化が観測されたのに対してバッファガラスを導入した光アイソ

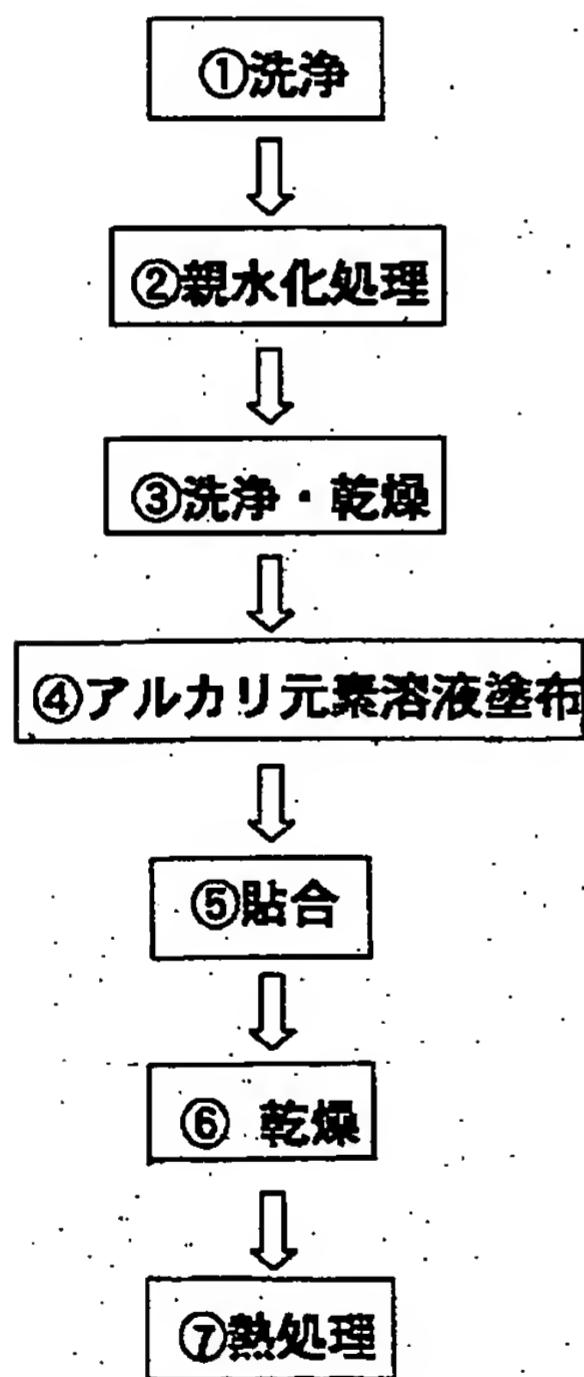
レータは、消光比劣化が約0.3 dBに留まっている。このことから、バッファガラスを導入し、熱膨張率差を $2 \times 10^{-6}/\text{°C}$ まで低減することで、消光比の温度依存を大幅に改善できることができた。なお、図5のグラフは、アイソレータそのものの消光比温度依存性を差し引いて熱膨張率差の影響のみを示したものである。

【0048】なお、本発明は、上記実施形態に限定されるものではない。上記実施形態は、例示であり、本発明の特許請求の範囲に記載された技術的思想と実質的に同一な構成を有し、同様な作用効果を奏するものは、いかなるものであっても本発明の技術的範囲に包含される。

【0049】

【発明の効果】以上、詳細に説明したように、本発明によれば、有機接着剤を使用していないため各種光学素子の接合が容易でかつ強固な接合強度が得られるとともに、アウトガスの発生や接合面の劣化がなく、小型で高信頼性の光デバイスを安価に提供することが可能となる。

【図1】



【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の接合方法の一例を示すフロー図である。

【図2】実施例1で接合する光学素子の構成と接合体を示す説明図である。

【図3】実施例1で形成した接合型光アイソレータの断面図である。

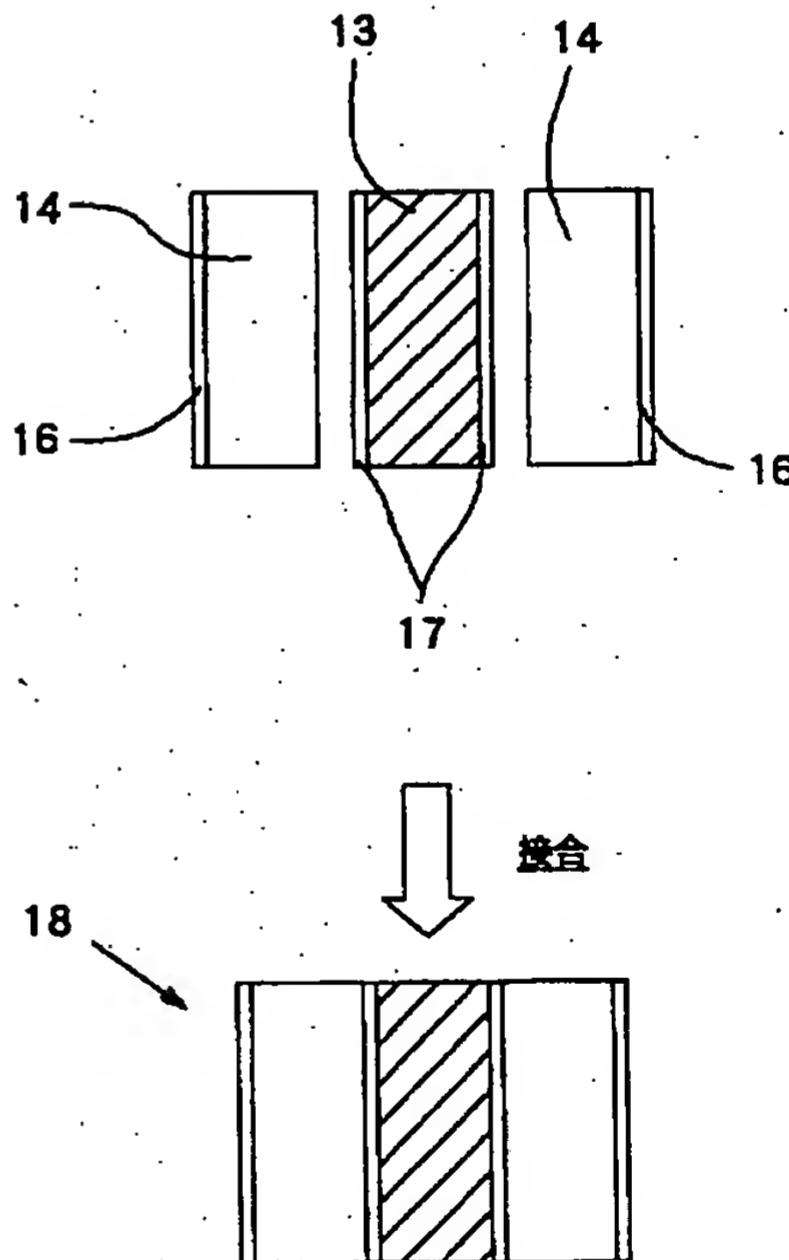
【図4】実施例4で形成したバッファガラスを導入した光学素子の構成と接合体を示す説明図である。

【図5】光学素子間の熱膨張率と光学特性（逆方向挿入損失劣化量（dB））の温度依存性の関係を表す図である。

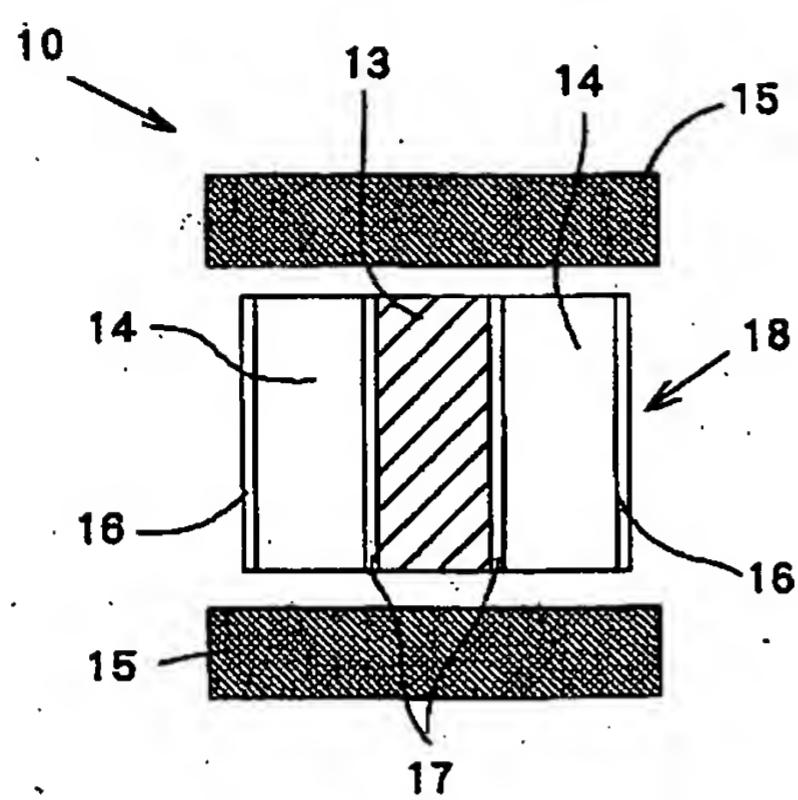
【符号の説明】

10…接合型光アイソレータ、12…バッファガラス、13…ファラデー回転子、14…偏光ガラス、15…磁石、16…対空気反射防止膜、17…対ガラス反射防止膜、18、19…接合体。

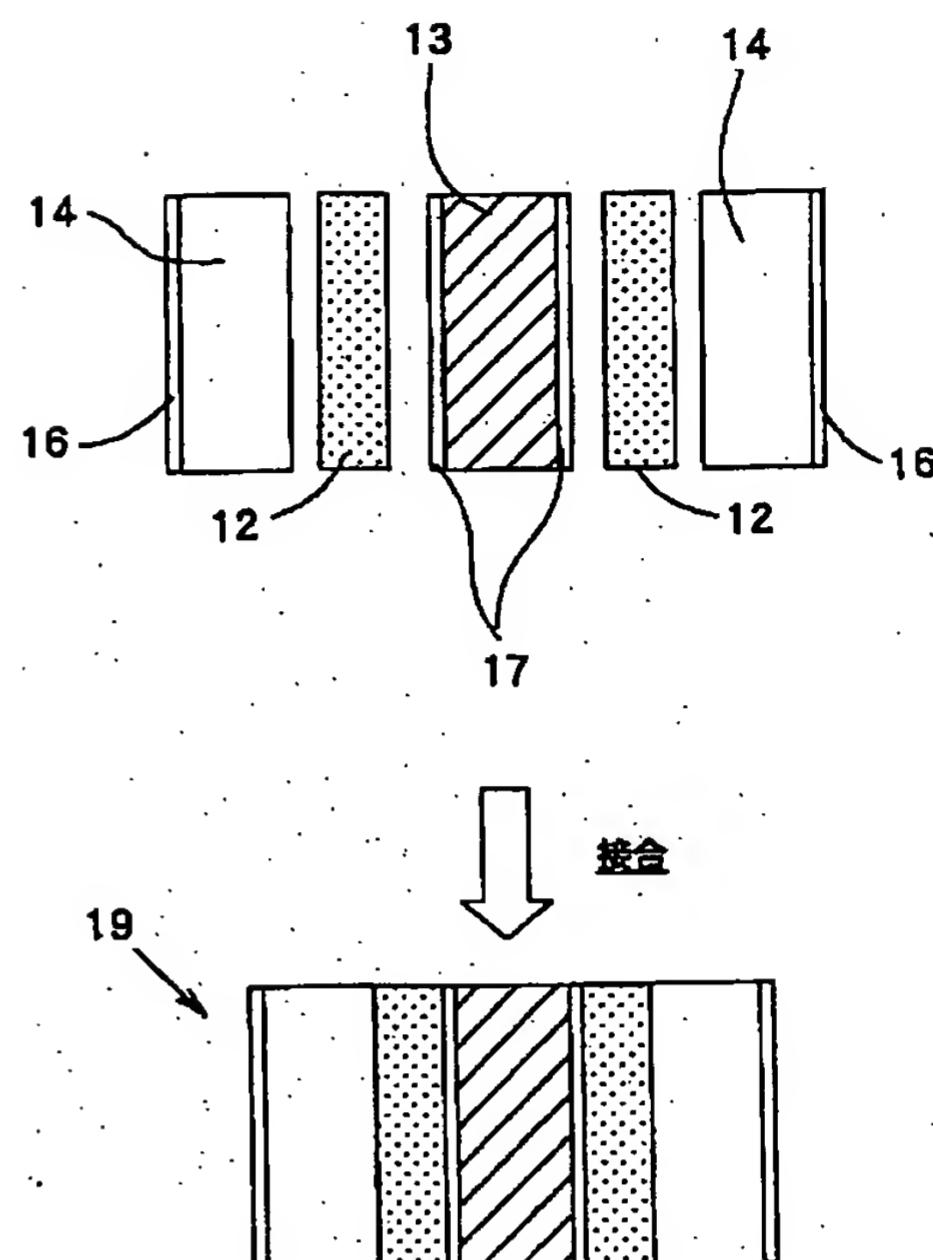
【図2】



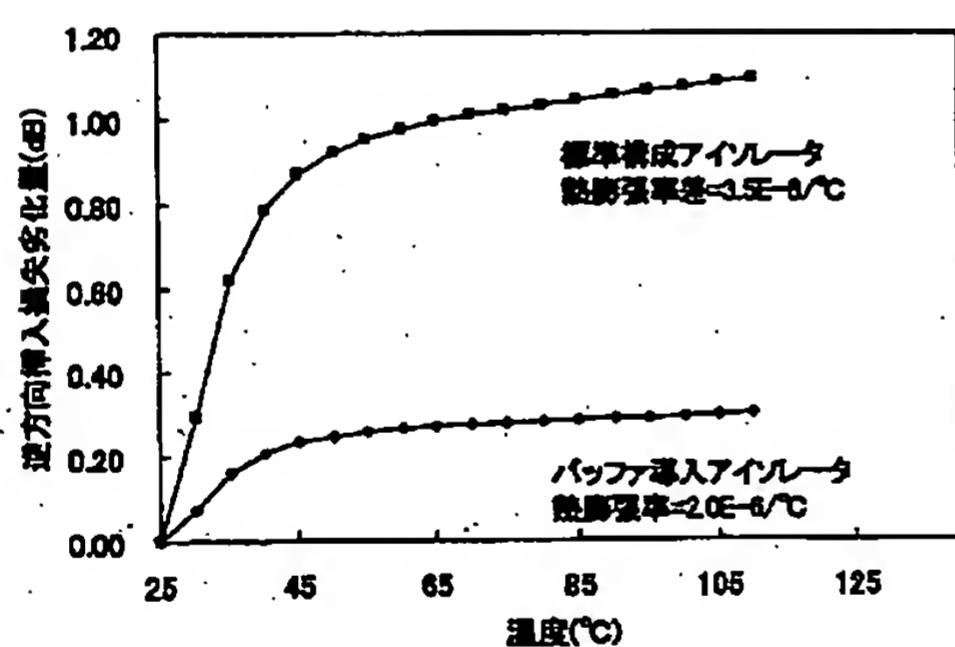
【図3】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

F ターム(参考) 2H079 AA03 BA02 CA06 DA13 DA27
 EA13 EA27 HA21 KA05
 2H099 AA01 BA02 CA11 DA05
 4G061 AA02 BA07 CA01 CB04 CB12
 CD12 DA05 DA09 DA10 DA22
 DA32 DA43